

Análisis de tensiones en árboles de geometría compleja bajo cargas debido al efecto giroscópico.

M. Sánchez Noa[1], J. Wellesley-Bourke Funcasta[1], Ma. E. García Domínguez[1], L. Martínez Delgado[1], C. Fabré Sentile[2].

1.-Dpto. de Mecánica Aplicada, Facultad de Ing. Mecánica. ISPJAE.
Calle 127 s/n. CUJAE, Marianao 15, Ciudad Habana.
Teléfono: 260-2267, Fax: 537-2602267.
E.Mail: msanchez@mecanica.ispjae.edu.cu
2.-ALCOM
Boyeros Km 31/2
Teléfono 54-5092

Resumen.
En el presente trabajo se exponen los resultados del análisis realizado en árboles de compleja geometría pertenecientes a un multiplicador planetario tipo 2KH-A destinado a emplearse en aerogeneradores de electricidad. En el mismo, se presentan los modelos físico-matemáticos de dichos árboles para ser analizados mediante el método de los elementos finitos, considerando el estado de carga que surge al funcionar el mecanismo y contemplando el efecto adicional de las cargas giroscópicas. Se muestran las zonas de conflicto de tensiones y se analizan propuestas de diseño que permitan, garantizando la resistencia y rigidez, realizar variaciones dimensionales y mejorar la compacidad de los elementos, disminuyendo a la vez el peso de los mismos.

Modalidad:Oral (Power Point)

Resumen.

En el presente trabajo se exponen los resultados del análisis realizado en árboles de compleja geometría pertenecientes a un multiplicador planetario tipo 2KH-A destinado a emplearse en aerogeneradores de electricidad. En el mismo, se presentan los modelos físico-matemáticos de dichos árboles para ser analizados mediante el método de los elementos finitos, considerando el estado de carga que surge al funcionar el mecanismo y contemplando el efecto adicional de las cargas giroscópicas. Se muestran las zonas de conflicto de tensiones y se analizan propuestas de diseño que permitan, garantizando la resistencia y rigidez, realizar variaciones dimensionales y mejorar la compacidad de los elementos, disminuyendo a la vez el peso de los mismos.

Introducción.

El objetivo del presente trabajo es determinar la distribución de tensiones en dos árboles portasatélites de compleja geometría (árbol de entrada e intermedio) pertenecientes a un multiplicador planetario destinado a ser empleado en aerogeneradores de producción nacional. Todas las ruedas dentadas del mecanismo (corona, satélites y sol) son de dientes rectos, no existiendo componente axial de carga en el sistema. La componente axial de carga externa producto del viento es absorbida por el soporte



(figura 1). El sistema es accionado por la energía del viento, y posee un accionamiento de frenado que evita que sobrepase la velocidad nominal de rotación de entrada (100 min^{-1}.) .

Para realizar el análisis se hace uso de técnicas computacionales, en particular el empleo de un programa profesional de elementos finitos.

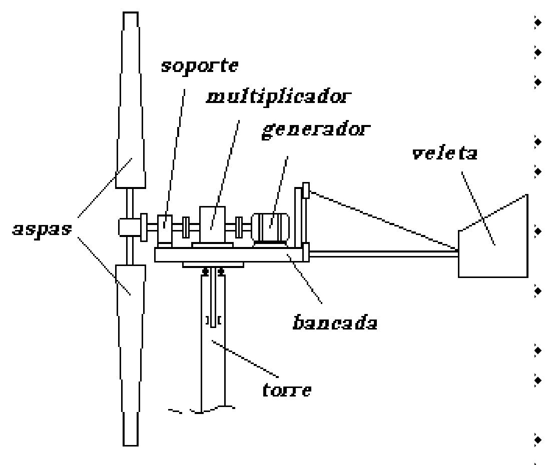


Figura 1. Aerogenerador

Datos Técnicos del Multiplicador Planetario 2KH-A.

- Tipo: 2KH-A
- Número de etapas: 2
- Relación de Transmisión de cada etapa: 1:4
- Potencia de diseño: 2.5 kW
- Velocidad de rotación a la entrada:100 min^{-1}.
- Velocidad de rotación a la salida: 1600 min^{-1}.
- Velocidad del árbol intermedio: 400 min^{-1}.
- Eficiencia del Multiplicador: 0.94
- Característica de carga en la máquina movida: Choques Suaves.
- Fiabilidad : Media.
- Engranajes: Ruedas de dientes rectos no rectificados.
- Cantidad de satélites: 3

Generalidades.

Para el análisis de los elementos objeto de estudio se necesita modelar cada árbol tomando en cuenta el material empleado, características geométricas, estado de carga y condiciones de apoyo. En este sentido se confeccionaron los siguientes modelos.

- Modelo físico-matemático del árbol de entrada (primer portasatélites).
- Modelo físico-matemático del árbol intermedio (segundo portasatélites).

Los modelos son procesados, obteniéndose las características estáticas y dinámicas de los elementos modelados, es decir, los esfuerzos y desplazamientos que se originan bajo las condiciones de carga.

En los mencionados modelos se debe contemplar:

- La geometría del sistema.
- Sistema de cargas actuantes
- Restricciones de movimiento del sistema.

Estos aspectos serán analizados tomando en cuenta las posibilidades y características del programa empleado.

Restricciones al movimiento y ubicación de las cargas actuantes.

El programa empleado brinda la posibilidad de utilizar tres tipos de elementos [4] : barras, placas (triangular y cuadriláteros) y poliedros (tetraedros, pentaedros y hexaedros) , estas posibilidades se deben conjugar con las características de los elementos a simular, en este caso todos los elementos simulados son cuerpos de revolución, empleándose los poliedros para generar los mismos, en particular pentaedros y hexaedros. Esta selección conlleva el empleo de gran cantidad de nodos para garantizar una adecuada discretización (tabla 1).

Árbol	**Nodos**	**Penta elementos**	**Hexa elementos**
Entrada	990	382	262
Intermedio	992	240	286

Tabla 1. Nodos y tipos de elementos empleados.

Cargas actuantes.

Las cargas que básicamente actúan son de torsión debido a la transmisión dentada y a las cargas que surgen por el efecto giroscópico y el peso de los elementos. De los datos de diseño [7], en el caso de movimiento uniforme se tiene lo siguiente observable en la tabla 2.

Árbol	**Torque [N–m]**	**Carga Tangencial / 3 [N.]**
Entrada	255	1399
Intermedio	62	536.8

Tabla 2. Cargas Actuantes.

Discretización de los árboles.

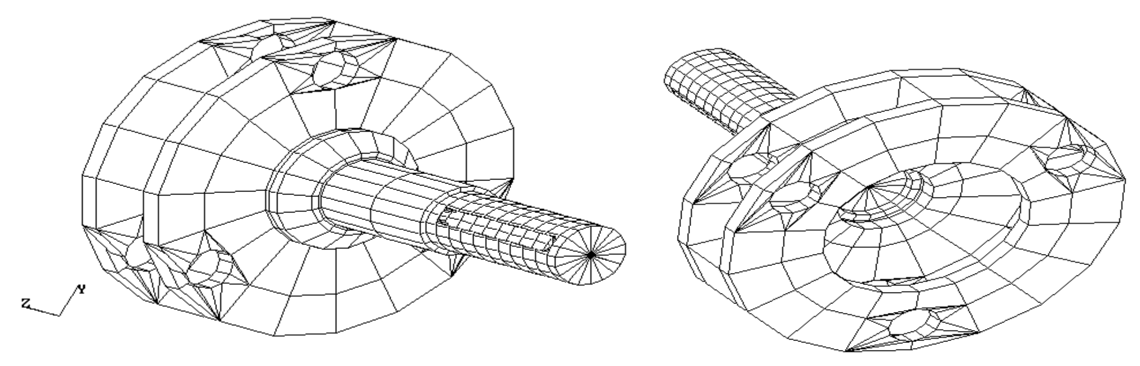


Figura 2. Modelo geométrico árbol de entrada.

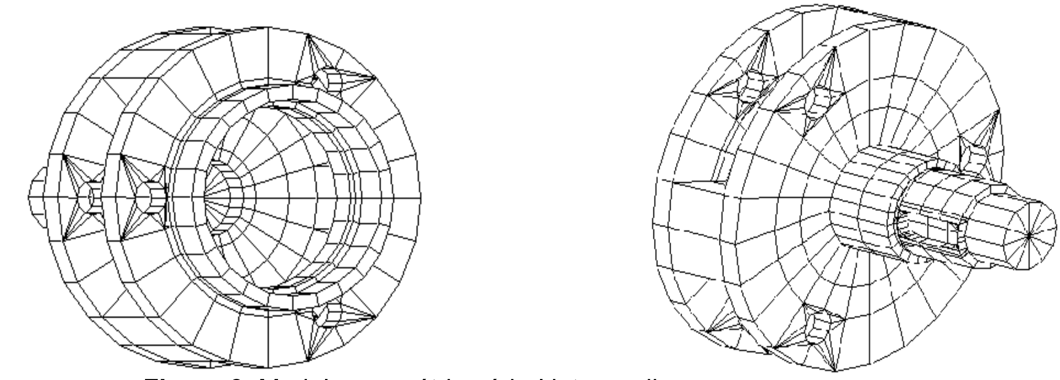


Figura 3. Modelo geométrico árbol intermedio

Análisis de las cargas debido al efecto giroscópico.

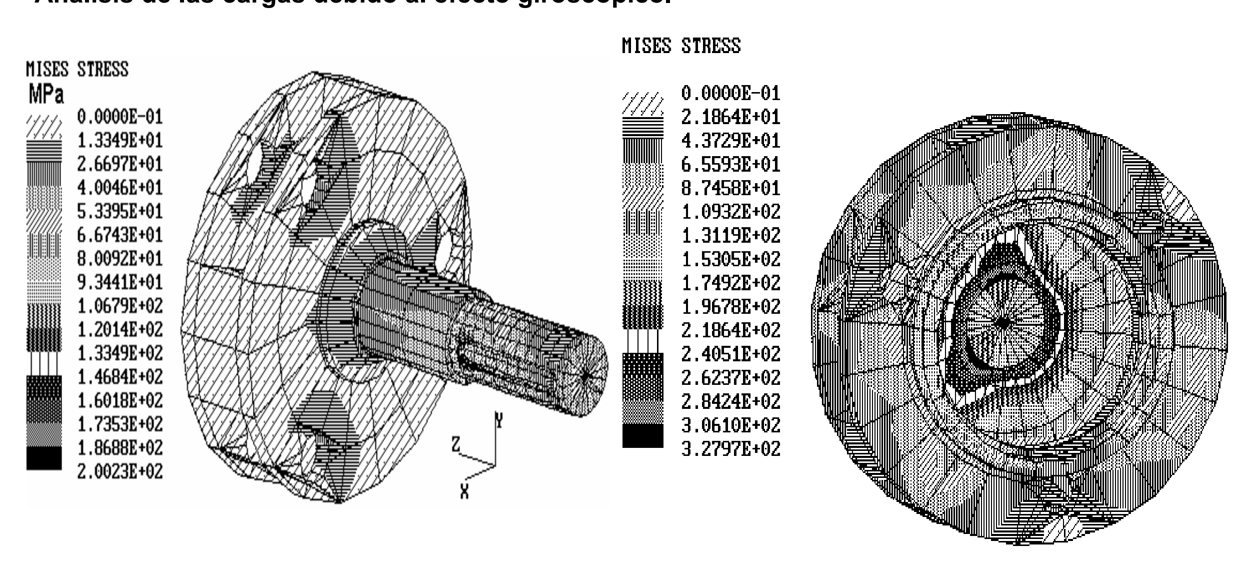


Figura 4. Modelo de elementos Finitos de árbol de entrada y árbol intermedio.

Se puede observar que el valor máximo de la tensión normal equivalente en el árbol de entrada es de 200.2 MPa y en el árbol intermedio es de 328 MPa y ocurre en el vaciado interior observable al girar el árbol. Este valor hace peligrar la resistencia del elemento. A continuación se muestra una propuesta para mejorar esta situación (figura 5) eliminando

dicho vaciado. Se muestra además los valores notables de tensiones y deformaciones en la tabla 3.

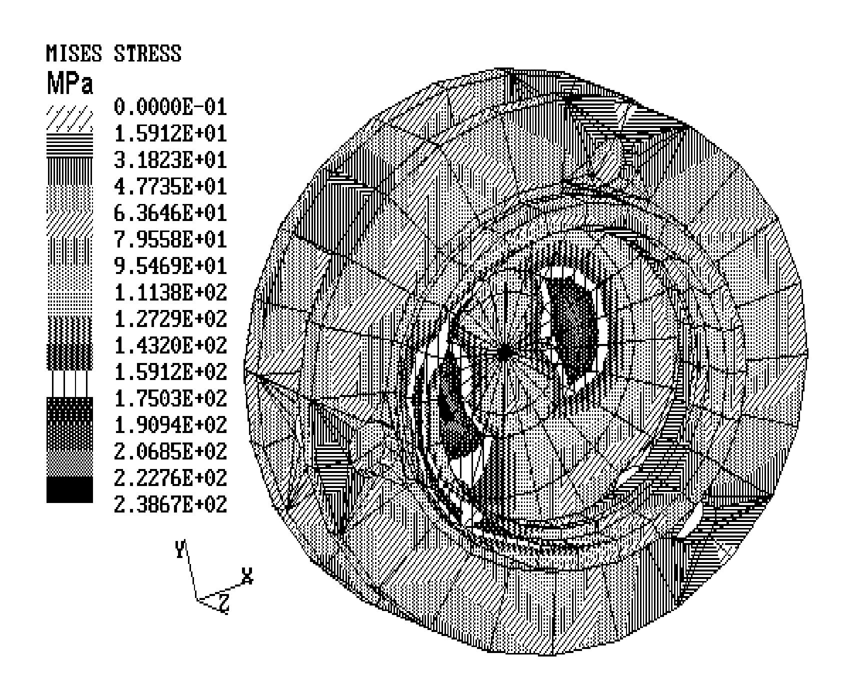


Figura 5. Árbol intermedio bajo efecto giroscópico eliminando vaciado interior.

Zona	**Tensión Normal Equival [Mpa]**	**Desp Direcc X [mm]**	**Desp Direcc Y [mm]**	**Desp Direcc Z [mm]**	**Ángulo Giro Ttal [φ^0)]**
Disco1	22-40	$2*10^{-1}$	$1*10^{-2}$	$2*10^{-1}$	0,46413
Disco 2	22.40	$1*10^{-2}$	$1*10^{-2}$	$2*10^{-1}$	0,4645
Nervios	24-35	$7*10^{-2}$	$1*10^{-2}$	$2*10^{-1}$	0,46423
Chaveter.	45-52	$1*10^{-2}$	$3*10^{-3}$	$2*10^{-2}$	0,31441
Cambio sección	90-102	$2*10^{-2}$	$3*10^{-3}$	$2*10^{-1}$	0,46421
Diám. Int. 22 mm.	238,67	$1*10^{-2}$	$4*10^{-3}$	$4*10^{-2}$	0,46413
Aro diám. Int. 58 mm.	215-227	$2*10^{-1}$	$4*10^{-1}$	$2*10^{-2}$	0,4645

Tabla 3.Resultados notables obtenidos de los modelos..

Conclusiones.

- El análisis de los resultados permitió demostrar que los árboles son capaces de soportar las cargas de diseño para las condiciones de explotación cumplimentando las condiciones de resistencia y rigidez, señalándose que debido al efecto giroscópico se sobrepasan dichos limites, por lo que se hace una proposición de cambio en el diseño que salva esta situación.

- La modificación del diseño es posible debido a que los valores de tensiones en los elementos permitirá disminuir peso, mejorar la capacidad de carga y hacer más compacto el multiplicador, mejorando su competitividad. Adicionalmente existe la posibilidad de rediseñar la etapa de salida por bajas cargas, con su evidente impacto en la compactación dimensional y en costos.
- Es posible la sustitución del acero actualmente empleado por otros más baratos , cuyas propiedades mecánicas y tratamiento térmico satisfagan los requerimientos de servicio y de carga actuante.

Referencias:

1.-Alvarez, J. V., Apuntes para el Curso de postrado “Los Elementos finitos Aplicados a la Técnica”, Imprenta ISJAE,1987.

2.-Bathe; K. J., “Finite Elements Procedure in Engineering Analysis”, McGraw Hill Book Co. , London. 1980.

3.-Fenner, T. F., “ Finite Element Methods for Engineers.” Mcmillan Press LTD., London,1975.

4.-Manual del Usuario MSC/PAL2, MacNeal-Schendler Corporation, Los Angeles, California,1987.

5.-Otero, P. L.,Novo, S. C., Fernández, S. M., “Desarrollo del Método de los Elementos Finitos”,(Primera parte), Revista Ingeniería Mecánica, Cuba,1997.

6.-Sánchez, N. M. , “Análisis de árboles Portasatélites del Multiplicador Planetario 2KH-AM”, Tesis de Maestría en Diseño Mecánico, 1999.

7.-Tejidor, A. E., “Software para el Cálculo de Transmisiones Planetarias 2KH-AM”, Trabajo de Diploma, ISPJAE,1995.

8.-Zienkiewcs, O. C. “El Método de los Elementos Finitos”, Editorial Reverté . S.A., España,1982.